А. С. Бакунов, С. Е. Шубочкин *(ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр»)*
В. А. Калошин, А. С. Рудаков *(ОАО НПО «ЭНЕРГОМАШ»)*

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ МЕТАЛЛА

Описаны особенности контроля толщины электропроводящих покрытий на электропроводящем основании. Отмечены трудности, возникающие при создании толщиномеров, решающих эту задачу. Представлены технические характеристики и устройство универсального вихретокового толщиномера ТЛ-1МП.

Надежность и долговечность изделий машиностроения во многом определяются их коррозионной стойкостью. Однако далеко не все материалы обладают достаточной стойкостью. Поэтому для их защиты от коррозии применяют различные покрытия. В ряде случаев защитные покрытия наносят с целью повышения износостойкости деталей и узлов механизмов. При этом конечные свойства деталей в значительной степени зависят от толщины защитных покрытий. Как правило, если слишком малая толщина покрытия не обеспечивает достаточную защиту, то слишком большая толщина покрытия может привести к снижению механических характеристик изделия. Поэтому неразрушающий контроль толщины защитных покрытий является весьма актуальной задачей.

Гальванические покрытия из цинка, никеля, хрома, кадмия, олова, меди, серебра и ряда других благородных металлов получили наибольшее распространение в качестве защитных покрытий. Использование таких материалов покрытия как серебро, золото и другие благородные металлы делает контроль толщины также и решением задачи их рационального расходования.

Особую актуальность представляет собой задача контроля толщины функциональных покрытий на изделиях из немагнитных металлов и жаропрочных слабомагнитных электропроводящих материалов энергетических установок.

Такие покрытия как никель, хром, никель + хром выполняют роль термо - эррозионной защиты теплонапряженных узлов энергетических установок, а покрытия никеля, меди, серебра предназначаются для присоединения пайкой сотовых конструкций.

Одним из основных методов решения задачи контроля толщины покрытий является вихретоковый метод контроля с использованием накладных вихретоковых преобразователей [1,2]. Существенное преимущество этого метода по сравнению с другими методами неразрушающего контроля состоит в том, что при сравнительно небольших габаритах измерительной аппаратуры он обеспечивает возможность проведения оперативного стопроцентного непрерывного контроля выпускаемых изделий. При этом миниатюрные накладные вихретоковые преобразователи обеспечивают высокую локальность контроля.

Принципиальным требованием, дающим возможность осуществления вихретокового контроля толщины электропроводящих покрытий на электропроводящем основании, является отличие электромагнитных параметров их материалов. Так для немагнитных материалов основы и покрытия их удельные электрические проводимости должны отличаться хотя бы в 1,2…1,5 раза.

Большое разнообразие возможных сочетаний материалов основания и покрытия и востребованность в промышленности привело к созданию значительного числа различных вихретоковых толщиномеров покрытий, большая часть которых появилась еще в семидесятых годах прошлого века [1,2]. Сложность контроля электропроводящих покрытий на электропроводящей основе из жаропрочных материалов заключается в необходимости калибровать прибор под каждое сочетание их материалов с помощью как стандартных образцов, так и образцов из натурных деталей. Каждый прибор должен иметь метрологическое обеспечение для конкретного сочетания электромагнитных параметров материалов основы и покрытия. Даже различные режимы термической или механической

обработки изделий из одного сочетания материалов могут привести к необходимости использования корректирующих параметров..

В результате «узкой» специализации каждого из таких приборов их серийный выпуск является нерентабельным. Поэтому в настоящее время, с одной стороны, существует потребность в толщиномерах электропроводящих покрытий на электропроводящих основаниях, а, с другой стороны, разработчики аппаратуры не заинтересованы в создании приборов только под конкретного заказчика.

Когда в ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр» обратилось ОАО «НПО Энергомаш» с техническим заданием на создание аппаратуры для контроля медных и никелевых покрытий на стали, а также медных покрытий на титане, разработчики расширили задачу, решив создать универсальный инструмент, позволяющий измерять толщину электропроводящих покрытий на электропроводящем основании при практически любых сочетаниях материалов основы и покрытия.

Работа выполнялась на образцах заказчика ОАО «НПО Энергомаш», изготовленных их материальной части деталей энергетических установок с нанесенными покрытиями никеля и меди. Толщина покрытия определялась металлографическим методом. Использовались также рабочие меры толщины покрытия, изготовленные селиктивно-весовым методом, разработанным в ОАО «НПО Энергомаш» (авторское свидетельство № 540125, 1976г.)

Анализ годографов вносимого напряжения для двухслойных изделий [2,3] показывает, что характер зависимостей сигналов накладных вихретоковых преобразователей от толщины покрытий может быть различный. В первую очередь он зависит от отношения величин удельных электрических проводимостей основания $\sigma_О$ и покрытия $\sigma_П$. Если аппаратуру построить так, чтобы зависимость сигнала от толщины покрытия носила монотонно возрастающий характер при $\sigma_О/\sigma_П>1$, то при $\sigma_О/\sigma_П<1$ эти зависимости будут монотонно убывающими. Чувствительность сигнала вихретокового преобразователя к толщине

покрытия также сильно зависит от этого отношения. Чем больше разница между $\sigma_О$ и $\sigma_П$, тем выше чувствительность и, наоборот, при $\sigma_О/\sigma_П \to 1$ чувствительность к толщине покрытия стремится к нулю.

По требованию заказчика толщиномер должен быть максимально простым и удобным в обращении. Все эти особенности были учтены при создании вихретокового толщиномера ТЛ-1МП. Соединить воедино всевозможные варианты сочетаний материалов покрытия и основы позволило применение микропроцессора с использованием соответствующего математического аппарата. Для повышения локальности контроля накладной вихретоковый преобразователь намотан на ферритовом стержне диаметром 1 мм. Защита феррита от истирания обеспечена использованием специального корундового наконечника.

Процессор позволяет хранить в памяти толщиномера практически неограниченное количество градуировочных кривых, соответствующих различным сочетаниям материалов покрытия и основы. Часть этих кривых заносится в память толщиномера при его выпуске из производства, в тоже время потребитель также имеет возможность дополнительно заносить в память градуировочные кривые для других сочетаний материалов основы и покрытия а также другие необходимые данные для метрологического обеспечения. Все это делает прибор не только универсальным, но и гибким, обучаемым средством контроля.

Толщиномер ТЛ-1МП имеет следующие основные технические характеристики:

Диапазон контролируемых толщин, мкм

- на ферромагнитной основе от 0 до 50
- на немагнитной основе от 0 до 250

По требованию потребителя возможна установка других значений верхнего предела измерений.

Предел основной допускаемой относительной погрешности измерений – 10%.

Указанное значение погрешности обеспечивается при выполнении следующих условий:

- меры толщины покрытия, применяемые для настройки толщиномера, аттестованы в установленном порядке с погрешностью не более 5%;
- настройка границ диапазона осуществлена по образцам основания и покрытия из тех же материалов, что и объект контроля;
- расстояние от центра преобразователя до края основания — не менее 10 мм;
- толщина основания — не менее 0,8 мм
- значение величины шероховатости поверхности основания и покрытия — не более Rz 20;
- радиус кривизны выпуклой поверхности основания — не менее 50 мм;
- температура окружающей среды — 20±5°С.

Предел допускаемой дополнительной погрешности при изменении температуры окружающего воздуха на каждые 10°С в пределах рабочего диапазона температур — не более половины предела основной погрешности.

Индикация результатов контроля — цифровая.

Электропитание толщиномера осуществляется от сети переменного тока напряжением 220±22 В частотой 50±1 Гц или от 4-х пальчиковых аккумуляторов типа АА.

Потребляемая от сети мощность — не более 2,2 ВА.

Время работы от аккумуляторов без подзарядки – не менее 50 ч.

Время установления рабочего режима — не более 15 мин.

Время одного измерения — не более 3 с,

Габаритные размеры, мм:

- электронного блока (ширина×высота×глубина) — 138×67×190
- измерительного преобразователя (диаметр×длина) — 14×46

- длина соединительного кабеля — 1000±200

Масса — 850±50 г.

Диапазон рабочих температур – от +5 до +40^{O}С.

Степень защиты от проникновения твердых тел и воды — IP41 по ГОСТ 14254-80.

На рис. 1 представлена структурная схема толщиномера ТЛ-1МП. Работает она следующим образом.

Автогенератор 1 вырабатывает синусоидальное напряжение частотой 1 МГц для питания преобразователя 2, представляющего собой катушку индуктивности, включенную в параллельный резонансный контур Напряжение, снимаемое с преобразователя, поступает на вход амплитудного детектора 3, с выхода которого постоянное напряжение через усилитель 4 подается на вход процессорного блока 5. Процессорный блок 5, управляет параметрами усилителя, преобразует входное напряжение в цифровой код, производит его обработку по заданному алгоритму, передает информацию о толщине измеряемого покрытия в блок 6 индикации. В усилителе 4 процессорный блок 5 задает коэффициент усиления и начальное смещение напряжения в зависимости от конкретного сочетания материалов контролируемых изделий. Блок 6 индикации высвечивает информацию об измеряемой толщине покрытия. Кроме того, на дисплее блока 6 индикации может отображаться информация о выполнении толщиномером той или иной операции. Электропитание всех узлов толщиномера осуществляется от стабилизированного блока 7 питания.

Внешний вид толщиномера ТЛ-1МП приведен на рис. 2.

На передней панели электронного блока 1 расположен цифровой дисплей 1.1 и панель управления 1.2, состоящая всего из четырех кнопок. На задней стенке электронного блока находятся выключатель питания, предохранитель и разъем для подключения измерительного преобразователя 2 с помощью гибкого кабеля 3.

Измерительный преобразователь 2 представляет собой абсолютный параметрический накладной вихретоковый преобразователь, катушка которого намотана на ферритовый сердечник и расположена в стержне 2.1, вставленном в корпус 2.2 и имеющем некоторую свободу перемещения вдоль оси. Для обеспечения нормированного усилия прижатия стержня к поверхности контролируемого изделия используется пружина.

В настоящее время изготовлена первая партия вихретоковых толщиномеров ТЛ-1МП. Они проторированы по стандартным образцам заказчика для контроля изделий из следующих сочетаний материалов (покрытие-основа): никель-сталь, медь-сталь, медь-титан. Все они с успехом эксплуатируются у потребителя и имеют положительные отзывы. А ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр» принимает заказы на изготовление толщиномеров для различных сочетаний материалов и покрытий. ОАО «НПО Энергомаш» может предоставить в арену заказчикам рабочие меры для проведения настройки и испытаний толщиномера.

Обязательным условием для выполнения заказа является наличие разницы в электромагнитных параметрах материалов покрытия и основы, как это было описано выше.

Заявки следует направлять по факсу (095) 246-8888 с припиской «для НИО-12».

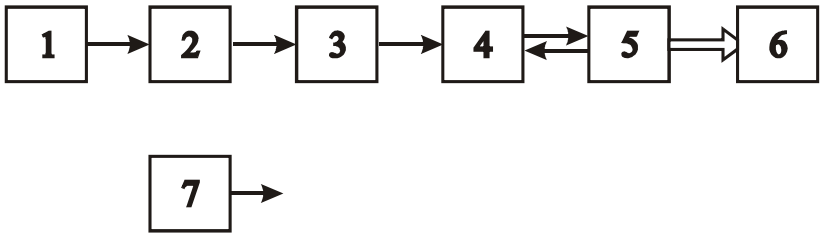
Телефон для справок: (095) 245-5618.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорофеев А. Л., Никитин А. И., Рубин А. Л. Индукционная толщинометрия. – М.: Энергия, 1969. – 152 с.

2. Дорофеев А.Л., Любашов Г. А., Останин Ю. Я. Измерение толщины покрытия с помощью вихревых токов. – М.: Машиностроение, 1975. – 64 с.

3. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник /В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филинов и др.; Под ред. В. В. Клюева – М.: Машиностроение, 1995. – 488 с.



1 - автогенератор, 2 - измерительный преобразователь,
3 - амплитудный детектор, 4 - усилитель, 5 - блок процессорный,
6 - блок индикации, 7 - блок питания стабилизированный

1
1.1
1.2
Толщиномер вихретоковый
007.6
ТЛ-1МП
3
2.1
2.2
2

Список подписей к рисункам статьи

А. С. Бакунова, В. А. Калошина, В. Ф. Мужицкого, С. Е. Шубочкина

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ МЕТАЛЛА

Рис. 1. Структурная схема вихретокового толщиномера ТЛ-1МП

Рис. 2. Внешний вид вихретокового толщиномера ТЛ-1МП

РЕФЕРАТ

статьи А. С. Бакунова, В. А. Калошина, А.С.Рудаков, С. Е. Шубочкина

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ГАЛВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ МЕТАЛЛА

Для защиты металлических изделий от коррозии при выполнении технологического цикла изготовления деталей и узлов изделия энергетического машиностроения наносят функциональные покрытия из различных материалов. При этом толщина покрытия является важной его характеристикой и требует контроля. Основным методом контроля толщины покрытий является вихретоковый. Он обеспечивает возможность проведения оперативного стопроцентного непрерывного контроля выпускаемых изделий при высокой локальности контроля.

Большое разнообразие возможных сочетаний материалов основы и покрытия создает определенные сложности при создании толщиномеров. В ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр» создан универсальный вихретоковый толщиномер ТЛ-1МП, предназначенный для контроля толщины электропроводящих покрытий на электропроводящем основании для практически любых сочетаний их электромагнитных параметров. Особенностью толщиномера является возможность контроля толщины гальванических покрытий на немагнитных, магнитных и слабомагнитных металлах. А также уникальная возможность контроля толщины магнитного покрытия никеля на магнитных и слабомагнитных металлах.

Необходимым условием возможности использования толщиномера является различие удельных электрических проводимостей основы и покрытия хотя бы в 1,2…1,5 раза.

В работе приводится описание и технические характеристики толщиномера ТЛ-1МП.